

## SIMBIOSIS MICORRIZICA EN LA FLORA DE ECOSISTEMAS DUNARIOS DEL CENTRO-SUR DE CHILE

### MYCORRHIZAL SYMBIOSIS IN THE FLORA OF SAND DUNES ECOSYSTEMS OF CENTRAL-SOUTH OF CHILE

Roberto Godoy\* y Belcy González\*

#### RESUMEN

En dunas litorales del Centro-Sur de Chile 39°26'S y 73°13'W (Mehuín, Hueicolla y Quillahua), se realizaron estudios de la composición y distribución de la flora vascular y se determinó el status micorrízico de las especies. De un total de 53 especies vasculares registradas, un 75% presentó asociación micorrízica, dominando el tipo vesículo-arbuscular (38 especies) mientras que el tipo ericoide y orquídea fueron de escasa representatividad; 13 especies no presentaron asociación micorrízica. Las muestras de granulometría, caracterizaron los ecosistemas en arenas finas y medias. El análisis químico del sustrato muestra un pH que fluctúa entre 6,5 y 7,3, una elevada conductividad con máximos de 702  $\mu$ S. En general, el sustrato presenta bajas concentraciones de carbono, nitrógeno y fósforo, con máximos de 0,3%, 0,04% y 3,0 ppm, respectivamente. El contenido de los micronutrientes (sodio, potasio, magnesio, calcio y hierro) es relativamente elevado, lo que concuerda con las características del ecosistema. Por último, se discute el rol ecológico de las asociaciones micorrízicas en los procesos de colonización y estabilización de los ecosistemas dunarios.

**PALABRAS CLAVES:** Chile, dunas, flora, formas de vida, micorriza vesículo-arbuscular.

#### INTRODUCCION

En Chile los ecosistemas dunarios cubren una superficie de 131.000 há, entre los 27°41' y 42°30'S, ubicándoseles tanto en las áreas costeras de climas semiáridos del norte, como también en las costas templado-húmedo del sur (Castro 1985).

\*Instituto de Botánica, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

#### ABSTRACT

In coastal sand dunes of the Central-South of Chile 39°26'S and 73°13'W (Mehuín, Hueicolla and Quillahua), the composition and distribution of the vascular flora was studied, the mycotrophic status of each species was determined. Of a total of 53 vascular species recorded, 75% demonstrated mycorrhizal association, mainly represented by type vesicular-arbuscular (38 species), while the type ericoide and orchid had a low representation. 13 species did not have a mycorrhizal association. The ecosystems were characterized by granulometric samples in middle and fines sand types. The chemical analysis of the sand showed that the soil pH fluctuated between 6.5 and 7.3, and the conductivity had a maximum value of 702  $\mu$ S. In general, the substratum had low concentrations of carbon, nitrogen and phosphorus, with maximum values of 0.3%, 0.04% and 3.0% ppm, respectively. The content of micronutrients (Na, K, Mg, Ca and Fe) was relatively high, agreeing with the characteristics of the ecosystem. Finally, the ecological role of mycorrhizae association in the process of colonization and stabilization in the sand dunes ecosystems is discussed.

**KEYWORDS:** Chile, sand dunes, flora, life forms, vesicular-arbuscular mycorrhizae.

Estudios sobre ecosistemas dunarios en Chile dicen relación con el control biológico del avance progresivo de las dunas (Cogollor & Vita 1980). Aspectos concernientes a la flora y vegetación han sido abordados por Alberdi & Ramírez (1967), Kohler & Weisser (1966), Kohler (1966, 1967, 1970, 1974), Donoso (1974), Toral (1980) y Ramírez *et al.* (1985).

Estudios recientes sugieren que, debido a la inestabilidad que presentan estos ecosistemas sometidos a un estrés considerable, con bajos nive-

les de nutrientes, amplia fluctuación de temperatura, humedad y rocío salino, los hongos microscópicos vesículo-arbusculares (HMVA) son importantes en el establecimiento, sobrevivencia y crecimiento de las plantas colonizadoras (Koske & Polson 1984, Read 1989). Indirectamente,

los HMVA facilitan la estabilización de estos ecosistemas mejorando la capacidad de absorción de agua y nutrientes, especialmente fósforo, por parte de la planta (Giovannetti & Nicolson 1983, Gemma *et al.* 1989, Read 1989). Además, contribuyen a la estabilización de estos ecosistemas

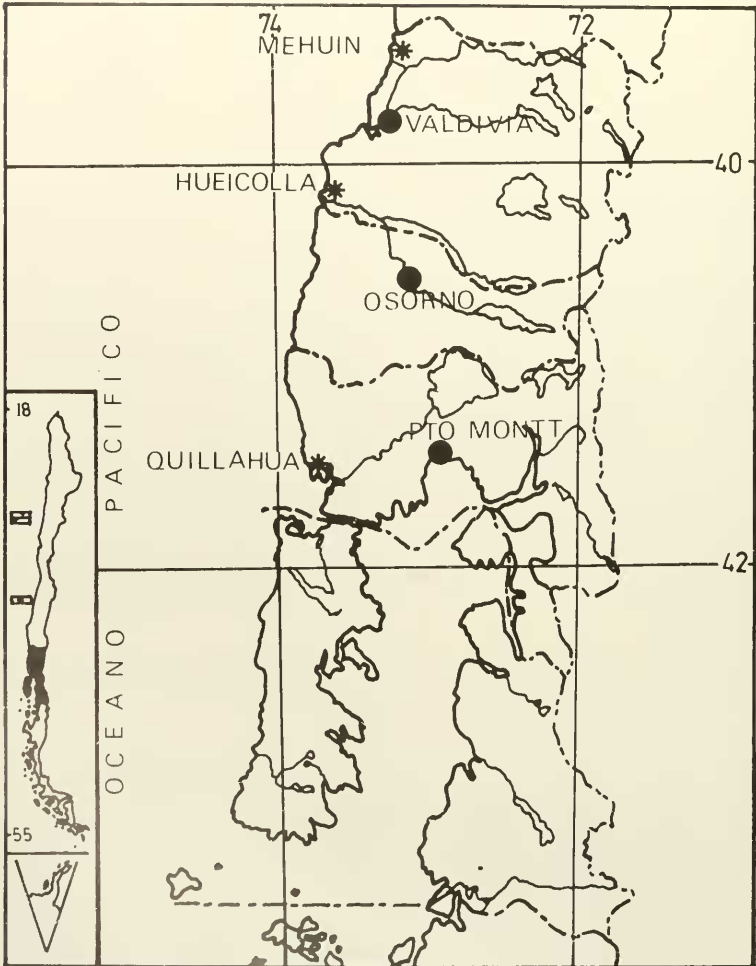


FIG. 1: Ubicación geográfica de las dunas investigadas del Centro-Sur de Chile.

por la formación de agregados de arena (Sutton & Sheppard 1976, Foster & Nicolson 1981, Jehne & Thompson 1981, Koske & Polson 1984, Giovannetti 1985). Estudios sobre dinámica del fenómeno micorrízico en ecosistemas dunarios indican cambios en la presencia y abundancia de los hongos simbioses determinados por las condiciones climáticas y estado fenológico de los hospedantes (Gemma & Koske 1988, 1989, Gemma *et al.* 1989).

El objetivo del presente estudio es contribuir a la caracterización de los ecosistemas dunarios, para lo cual se determinó el status micorrízico de la flora vascular en dunas litorales del Centro-Sur de Chile.

#### AREA DE ESTUDIO

La presente investigación fue realizada en tres áreas de dunas litorales del Centro-Sur de Chile, Décima Región. El primer lugar de estudio fue ubicado en Mehuín al norte de la desembocadura del río Lingue 39°26'S y 73°13'W, conocido como Playa Grande, cuya extensión es de 1.6 km de longitud, con una orientación NW. La segunda localidad en estudio fue Hueicolla ubicada en la Provincia de Valdivia, comuna de La Unión, 40°08'S y 73°39'W. Las muestras fueron colectadas en la playa Chahuá, que se encuentra al norte de la desembocadura del río Hueicolla, con una longitud que no supera los 600 m y de exposición SW. Por último, la localidad de Quillahua se ubica en la Bahía de Maullín a 41°30'S y 73°48'W. La playa de estudio se encuentra al norte del río homónimo, cuyo eje principal supera los 2 km de longitud, con una acentuada orientación SW.

La temperatura media anual es de 10°C y los datos fueron obtenidos de estaciones meteorológicas ubicadas en el área, cuya oscilación térmica anual es moderada. Las precipitaciones se registran durante todo el año, concentrándose más del 50% en invierno (Di Castri & Hayek 1976). Los suelos próximos a las dunas son del tipo rojo-arcilloso, los cuales se caracterizan por poseer un bajo nivel de materia orgánica y ser fácilmente dispersables debido a la composición mineralógica de las arcillas, lo que sumado a las condiciones topográficas, le confieren una alta

susceptibilidad a la erosión (IREN 1978).

La vegetación litoral nativa ha sido notablemente diezmada, registrándose en la actualidad sólo algunos sectores de la zona costera con vegetación primitiva, donde domina el matorral de *Griselinia jodinifolia* (Griseb.) Taub. (Cornaceae) (Alberdi & Ramírez 1967, Hildebrandt 1983).

#### MATERIAL Y METODOS

La nomenclatura de las especies vegetales recolectadas es de acuerdo a Marticorena & Quezada (1985) y el material fue depositado en el Herbario de la Universidad Austral (VALD). Paralelamente y apoyados en la clave de Elleberg & Mueller-Dombois (1967), se determinaron en terreno las formas de vida, para establecer el espectro biológico.

Para determinar el tipo de asociación micorrízica, se colectó material radical de las especies vasculares a una profundidad de 20-40 cm, considerando para cada especie vegetal a lo menos 5 submuestras parciales, en cada tipo de duna (embrionarias, primarias y secundarias). El material fue fijado en alcohol a 70% (Kormanik & Mc Graw 1982), posteriormente teñido de acuerdo al procedimiento indicado en Koske & Gemma (1989). La determinación del tipo de simbiosis micorrízica fue evaluada en un microscopio estándar Lab 16.

Para cada tipo dunario se colectaron en enero de 1991 cinco submuestras de suelo rizosférico, a partir de la cual se obtuvo una muestra compuesta para extracción de esporas de HMVA, usando el método de centrifugación con gradiente de sacarosa (Daniels & Skipper 1982, Ianson & Allen 1986). Para la estimación cuantitativa de éstas, bajo microscopio estereoscópico, se realizaron 4 repeticiones por muestra de cada área investigada. Para el análisis del suelo las muestras fueron secadas a temperatura ambiente. El pH fue determinado en agua y KCl 0.1 N. La conductividad en solución acuosa 1:2.5 (Steubing & Fangmaier 1992). El contenido de carbono total fue estimado según el método de oxidación húmeda en  $K_2Cr_2O_7$  (Steubing & Fangmaier 1992). La determinación de nitrógeno total se realizó según el método Kjeldall (Steu-

TABLA I. Status micorrícico de la flora vaascular en dunas del Centro-Sur de Chile. FV = Formas de vida: FA = Fanerófito, CA = Caméfito, HE = Hemieriptófito, GE = Geófito y TE = Terófito. Tipos de micorriza: VA = Vesículo arbuscular, ER = Eriicoide, OR = Orquídea, SM = sin micorriza y - = Ausencia de la especie.

Formas de vida	ESPECIES	MEHUIN	HUEICOLLA	QUILLAHUA
HE	<i>Agrostis capillaris</i> L.	VA	-	-
TE	<i>Aira caryophyllea</i> L.	VA	VA	VA
CA	<i>Ambrosia chamissonis</i> (Less.) Greene	VA	VA	VA
HE	<i>Ammophila arenaria</i> (L.) Link	VA	VA	VA
TE	<i>Arctotheca calendula</i> (L.) Levyns	VA	-	-
TE	<i>Atriplex chilensis</i> Colla	SM	-	-
FA	<i>Baccharis sphaerocephala</i> H et A.	VA	-	-
TE	<i>Bromus rigidus</i> Roth.	VA	VA	VA
GE	<i>Calystegya soldanella</i> (L.) Roem. et Schult.	VA	VA	VA
GE	<i>Carex pumila</i> Thunb.	SM	SM	SM
CA	<i>Carpobrotus aequilaterus</i> (Haw.) N.E.Br.	VA	-	-
CA	<i>Cerastium arvense</i> L.	SM	SM	SM
TE	<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronq	VA	VA	VA
TE	<i>Coronopus didymus</i> (L.) J.E.Sm.	SM	SM	SM
TE	<i>Chenopodium album</i> L.	-	-	SM
GE	<i>Chloraea</i> sp.	OR	-	OR
HE	<i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene	VA	VA	VA
CA	<i>Empetrum rubrum</i> Vahl. ex Willd.	-	ER	ER
HE	<i>Eryngium paniculatum</i> Cav. et Domb. ex Delar	VA	VA	VA
GE	<i>Euphorbia portulacoides</i> L.	VA	VA	VA
HE	<i>Fragaria chilensis</i> (L.) Duch.	VA	VA	VA
HE	<i>Gamochaeta americana</i> (Mill.) Wedd.	VA	VA	VA
TE	<i>Gnaphalium cheiranthifolium</i> Lam.	VA	VA	VA
HE	<i>Holcus lanatus</i> L.	VA	VA	VA
HE	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	VA	VA	VA
HE	<i>Hypochaeris taliensis</i> Reiche	-	VA	VA
HE	<i>Lagarus ovatus</i> L.	VA	-	-
HE	<i>Leontodon taraxacoides</i> (Vill.) Mérat	VA	VA	VA
HE	<i>Lotus</i> sp.	VA	-	-
FA	<i>Lupinus arboreus</i> Sims	SM	-	-
CA	<i>Margyricarpus pinnatus</i> (Lam.) O.K.	VA	VA	VA
HE	<i>Medicago polymorpha</i> L.	VA	-	-
GE	<i>Nolana paradoxa</i> Lindl.	VA	VA	VA
HE	<i>Oenothera stricta</i> Ledeb ex Link	VA	VA	-
GE	<i>Panicum urvilleanum</i> Kunth.	VA	VA	VA
HE	<i>Paspalum distichum</i> L.	VA	VA	VA
HE	<i>Plantago lanceolata</i> L.	VA	VA	VA
HE	<i>Plantago truncata</i> Cham. et Schlecht.	VA	VA	VA
HE	<i>Polygonum aviculare</i> L.	SM	SM	SM
CA	<i>Polygonum sanguinaria</i> Remy	SM	SM	SM
HE	<i>Rumex acetosella</i> L.	SM	SM	SM
GE	<i>Rumex cuneifolius</i> Campd.	SM	SM	SM
HE	<i>Sagina apetala</i> Ard	VA	VA	VA
TE	<i>Salsola kali</i> L.	SM	-	-
CA	<i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) Scott.	VA	-	-
HE	<i>Scirpus oleyi</i> Gray ex Engelm. et Gray	VA	VA	VA
GE	<i>Sisyrinchium junceum</i> E. Mey. ex K. Presl	-	-	-
CA	<i>Spergula arvensis</i>	SM	-	SM
HE	<i>Stenotaphrum secundatum</i> (Walter) O.K.	VA	VA	VA
CA	<i>Tetragonia espinosae</i> Muñoz	SM	SM	-
TE	<i>Trifolium dubium</i> Sibth.	VA	VA	VA
HE	<i>Trifolium repens</i> L.	VA	VA	VA
FA	<i>Ulex europaeus</i> L.	VA	-	-
	TOTAL = 53	49	37	39

bing & Fangmaier 1992). El contenido de fósforo absorbible fue determinado mediante el método Olsen's (Sabbe 1980). La determinación de cationes de intercambio y solubles  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{Fe}^{+++}$  se hizo mediante extracción de Amonio 4,8 DTPA y posterior lectura en espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 2340 (Sabbe 1980).

Considerando los valores medios originales de las variables químicas, se realizó un análisis de ordenación, con el objeto de agrupar las localidades mediante el método de correspondencia a 2 vías (Greenacre 1984, Orlocci 1978), cuya gráfica fue obtenida mediante el programa NTSYS-PC (Rohlf 1987).

## RESULTADOS

En la Tabla I se indica el status micorrícico de la flora vascular de las dunas en las tres localidades investigadas y las formas de vida correspondientes. El tipo de asociación micorrícica más frecuentemente observada es el vesículo-arbuscular (VA), mientras que los tipos de asociación ericoide (ER) y orquídea (OR), son de menor frecuencia.

En Mehuín 36 especies presentaron el tipo de colonización VA y 28 en Hueicolla y Quillahu. El tipo OR sólo se presentó en *Chloraea* sp. (Orchidaceae) registrada en las dunas de Mehuín y Quillahu. El tipo de colonización micorrícica ER se presentó en *Empetrum rubrum*, especie registrada tanto en las dunas de Hueicolla como en las de Quillahu. En las dunas de Mehuín no se observó este tipo de asociación.

El porcentaje de especies no-micorrizadas es inferior en relación a aquellas que presentan colonización micorrícica. En las dunas de Mehuín, de un total de 49 especies, 12 carecen de asociación simbiótica (24,5%), en Hueicolla 8 de 37 (21,6%) y en Quillahu 9 de 39 (23%), las que pertenecen a las familias: Chenopodiaceae, Caryophyllaceae, Cyperaceae, Polygonaceae, Fabaceae y Brassicaceae.

Al analizar el status micorrícico, merecen especial atención aquellas especies con asociación de carácter tripartita, como son las Fabaceae: *Lotus* sp., *Medicago polymorpha*, *Trifolium dubium*, *Trifolium repens* y *Ulex europaeus*, que además de presentar asociación micorrícica del tipo VA, poseen nódulos radicales colonizados por bacterias que fijan nitrógeno. Cabe destacar el hecho que *Lupinus arboreus*, que pertenece a la familia Fabaceae, sólo posee asociación sim-

Tabla II. Status micorrícico de la flora vascular versus formas de vida en dunas del Centro-Sur de Chile.

Formas de vida	Tipos de Micorriza								Total	
	VA		OR		ER		SM			
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
FA	2	3,77	-	-	-	-	1	1,89	3	5,66
GE	5	9,43	1	1,89	-	-	2	3,77	8	15,09
TE	6	11,32	-	-	-	-	4	7,55	10	18,87
CA	5	9,43	-	-	1	1,89	3	5,66	9	16,98
HE	21	39,62	-	-	-	-	2	3,77	23	43,40
TOTAL	39	73,58	1	1,89	1	1,89	12	22,64	53	100

biótica con formación de nódulos radicales de *Rhizobium* sp.

Se observa que el tipo VA está presente en todas las formas de vida del espectro biológico (Tabla II), mientras que las ericoides y orquídeas, están asociadas a caméfitos y geófitos, respectivamente. En relación a los taxa carentes de simbiosis micorrícica, se aprecia una distribución a través de las diversas formas de vida del espectro

biológico.

Los resultados correspondientes al análisis de las formas de vida, de la flora investigada para las dunas del Centro-Sur de Chile, se muestran en la Fig. 2. Se observa que en las dunas embrionarias se presenta como forma de vida dominante la geófita (56%), mientras que los terófitos (7%) tienen escasa representatividad.

En las tres localidades estudiadas el número

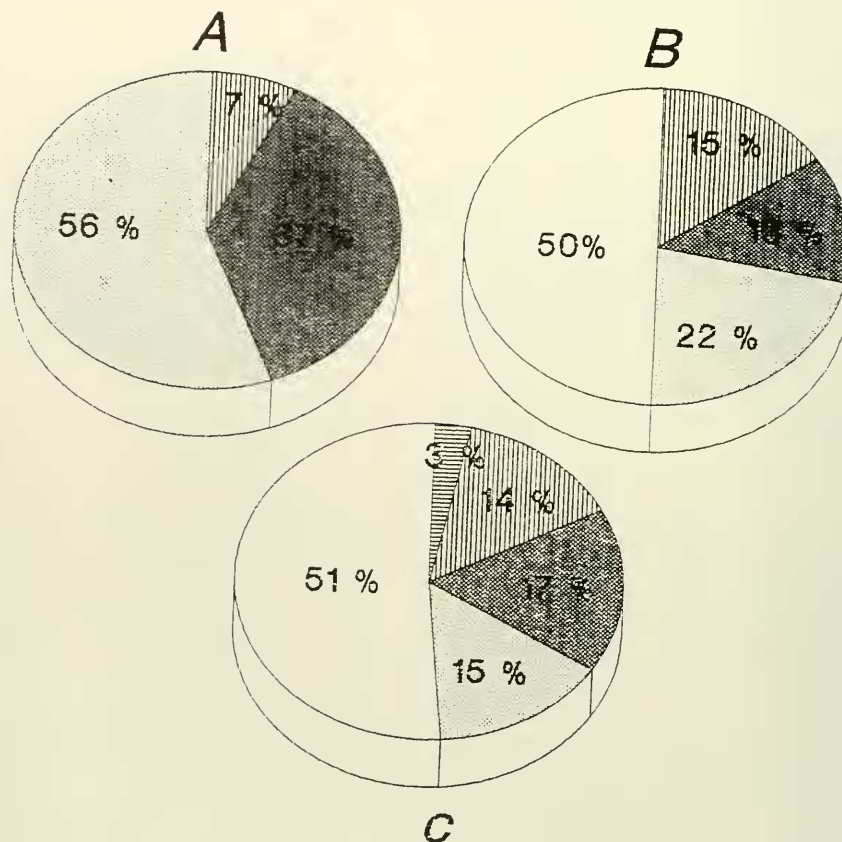


FIG. 2: Espectro biológico de la flora vascular representando en dunas embrionarias (A), dunas primarias (B) y dunas secundarias (C) del Centro-Sur de Chile. Punteado gris: geófitos; punteado oscuro: caméfitos; rayas verticales: terófitos; blanco: hemicriptófitos; rayas horizontales: fanerófitos.



de esporas aumenta desde las dunas embrionarias a las secundarias (Fig. 3). Mehuín presentó el mayor contenido de esporas, acentuado particularmente en las dunas primarias y secundarias, con 566 y 1235 esporas por 100 gr de suelo, respectivamente. También se observa la ausencia de esporas en dunas primarias de Hueicolla. El menor número de esporas contenidas en el sustrato de dunas primarias y secundarias de las localidades de Hueicolla (162 y 416 esporas respectivamente) y Quillahua (139 y 450 esporas respectivamente) son muy similares. Más al interior, en las dunas primarias y secundarias, el espectro biológico sufre un cambio gradual en el reemplazo e incorporación de nuevas formas de vida. La disminución en representatividad de los geófitos en dunas primarias (22%) y secundarias (15%) es evidente. Por el contrario, los caméfitos reflejan un incremento porcentual en el espectro biológico de las dunas más estabilizadas, mientras que la forma de vida terófito tiende a ser constante. Por último, es necesario destacar que el espectro biológico de dunas secundarias es más diversificado, incluyendo a los fanerófitos.

En la Tabla III es posible observar que, en general, el pH del suelo en  $H_2O$  tiende a disminuir desde las dunas embrionarias a las secundarias, los menores valores se midieron en Quillahua, presentando extremos de 7,31 y 6,55, respectivamente. Esta misma tendencia se encontró en los valores del pH en KCl 0,1 N. Los valores de conductividad reflejan un acentuado

cambio desde las dunas embrionarias a las secundarias, los cuales varían de 702 a 47  $\mu S$ , respectivamente. En general, para las variables señaladas los valores en las tres localidades están dentro del mismo rango, excepto en las dunas embrionarias de Hueicolla que presentan el máximo. Los valores registrados de carbono total son en general muy bajos, siendo algo mayores los de las dunas embrionarias de Mehuín. En relación al nitrógeno total, los registros evidencian valores en todos los casos de 0,04%. El fósforo absorbible presenta un comportamiento errático, registrándose el valor más alto en las dunas primarias de la localidad de Quillahua (3,0 ppm). Los resultados obtenidos de los cationes, en general, son altos, particularmente los de  $Na^+$ , los que presentan una disminución notable desde las dunas embrionarias a las secundarias; los más altos se registraron en Mehuín con 805 ppm. Los registros de  $K^+$  y  $Ca^{++}$  poseen un comportamiento similar con máximos en las dunas embrionarias y primarias de Mehuín; los valores inferiores se encuentran en Quillahua, pero en diferentes tipos de dunas. Los mismos contenidos de  $K^+$  estuvieron en dunas primarias y secundarias, mientras que los de  $Ca^{++}$  se registraron en dunas embrionarias (61 ppm). Con respecto a los valores de  $Mg^{++}$  éstos tienden a disminuir en las localidades de Hueicolla y Quillahua desde las dunas embrionarias a las secundarias de 169-67 ppm, mientras que el contenido en Mehuín, que es muy superior especialmente en dunas primarias, es variable.

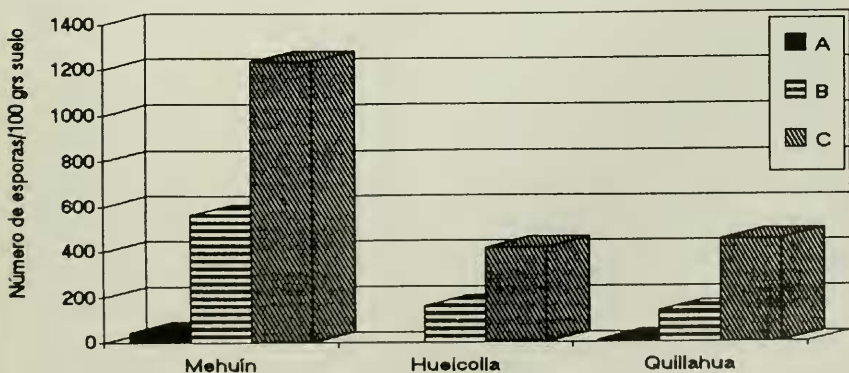


FIG. 3: Número de esporas de HMVA contenidas en 100 grs. de arena de las dunas embrionarias (A), primarias (B) y secundarias (C) de las localidades investigadas.

Los resultados de Fe<sup>+++</sup> obtenidos son del orden de 3-7 ppm, no existiendo un comportamiento definido en su concentración, aun cuando la localidad de Mehuín posee los mayores valores.

Con la finalidad de agrupar las localidades mediante el análisis de ordenación (Fig. 4), utilizando los valores medios de las 11 variables químicas en las dunas estudiadas, se determinó que los dos primeros componentes explican el 75,31% de la variación total (componentes: I = 50,61% y II = 24,70%). Se observó que para el primero de los componentes indicados aparece conductividad y fósforo como las variables que contribuyen con el mayor peso, mientras que en el segundo componente se indica una mayor dominancia para las variables de potasio y fósforo, respectivamente.

Los resultados muestran un grupo homogéneo en el cuadrante I que corresponde a 3b y 3c (Quillahua: dunas primarias y secundarias). En el cuadrante II aparece en forma aislada la duna embrionaria de Hueicolla (2a). Por último, una tercera agrupación incluye los 6 puntos restantes

a saber: Mehuín (1a, 1b y 1c), Hueicolla (2b y 2c) y Quillahua (3a).

### DISCUSION

Un aspecto de gran relevancia en los ecosistemas dunarios son los hongos micorrícicos vesículo-arbusculares, debido a que éstos se relacionan directamente con la especie vegetal y el medio que los circunda. Esto favorece el crecimiento de la planta, lo que sugiere que las micorrizas pueden ser esenciales en los estados críticos del ciclo de vida de las especies. Por otra parte favorece la agregación de los granos de arena necesarios para la estabilización del sustrato (Read 1989).

Las formas de vida presentes en estos ecosistemas se ven mayoritariamente representadas por geófitos en las dunas próximas a la playa, en comparación a aquéllas más protegidas donde son reemplazados por hemicriptófitos, caméfitos

TABLA III. Análisis químico de los suelos de dunas investigadas del Centro-Sur de Chile. A=Dunas embrionarias B=Dunas primarias C=Dunas secundarias

	MEHUIN			HUEICOLLA			QUILLAHUA		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
PH H2O	7,07	7,10	6,94	7,31	7,24	6,96	6,78	6,63	6,55
PH KCl	6,37	6,12	6,00	6,49	5,89	5,65	6,04	6,38	6,09
Cond (µS)	245,00	85,00	56,00	702,00	74,00	58,00	223,00	67,00	47,00
CT(%)	0,33	0,21	0,17	0,20	0,21	0,15	0,11	0,10	0,17
NT(%)	0,004	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
P(ppm)	0,90	0,50	1,70	1,30	0,60	0,40	0,10	3,00	1,80
Na(ppm)	805,00	665,00	649,00	790,00	440,00	436,00	755,00	537,00	482,00
K(ppm)	131,00	133,00	71,00	100,00	50,00	43,00	63,00	39,00	39,00
Ca(ppm)	230,00	261,00	187,00	123,00	101,00	86,00	61,00	129,00	147,00
Mg(ppm)	186,00	209,00	185,00	169,00	126,00	94,00	74,00	71,00	67,00
Fe(ppm)	6,50	6,40	7,00	4,90	3,50	6,90	5,20	3,80	3,40



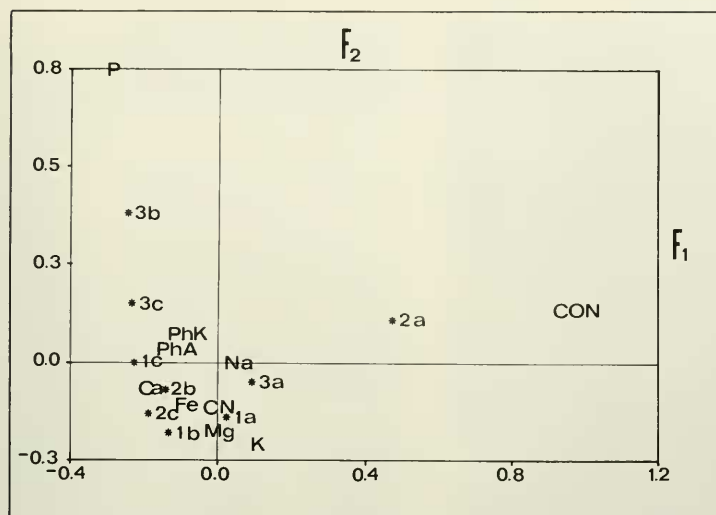


Fig. 4: Ordenación espacial de las localidades y tipos de dunas investigadas, considerando 11 variables químicas: PhA=pH en  $H_2O$ , PhK=pH en KCl, CON=Conductividad, C=Carbono total, N=Nitrógeno total, P=Fósforo absorbible, Na=Sodio, Ca=Calcio, Fe=Fierro, K=Potasio y Mg=Magnesio. Tipos de dunas: dunas embrionarias (a), dunas primarias (b) y dunas secundarias (c). Localidades: Mehuín (1), Hueicolla (2) y Quillahua (3).

e incluso algunos fanerófitos, indicio de un ecosistema más estable (Kohler 1970, Ramírez *et al.* 1985). Una situación muy similar es advertida por Hundt (1985) en la composición del espectro biológico, para ecosistemas dunarios del mar Báltico.

Considerando que la simbiosis micorrícica constituye un fenómeno de carácter universal, existen especies con mayor o menor dependencia por esta asociación mutualística (Harley 1989). El status micorrícico de la flora vascular, presente en estos ecosistemas del Centro-Sur de Chile, demuestra que el 75% de las especies se encuentran micorrizadas y que el tipo de asociación simbiótica más frecuente es el VA (38 de 40), hecho similarmente documentado en otras regiones del mundo (Giovannetti & Nicolson 1983, Giovannetti & Avio 1983, Puppi & Riess 1987, Mohankumar *et al.* 1988). Antecedentes que consideran la totalidad de la flora vascular de dunas a lo largo de Chile, indican que de un total de 137 especies, el 71% posee HMVA (Godoy en

preparación). Un total de 13 especies resultaron carentes de asociación micorrícica; ellas pertenecen a las familias que son descritas típicamente, como no-micorrizadas o escasamente micorrizadas (Koske & Polson 1984, Newman & Reddell 1987, Tester *et al.* 1987). Este hecho es atribuido a la presencia de compuestos fungitóxicos en células corticales de la raíz o exudados que, pueden reducir la susceptibilidad de las plantas a la infección (Newman & Reddell 1987, Tester *et al.* 1987).

Llama la atención la presencia del tipo de asociación ericoide presente sólo en una especie vascular, de la familia Empetraceae: *Empetrum rubrum*. La colonización de dunas por especies de esta familia ocurre cuando el contenido de carbonato de calcio y pH de las áreas han sido reducidos, por efecto del lavado (Read, 1989; Rose, 1989). La dominancia del tipo micorrícico VA, formado por hongos Zygomycetes, es frecuente en ambientes dunarios, con poca materia orgánica y bajos contenidos disponibles de fósfo-

ro, lo que puede reflejar los requerimientos para la movilización de nutrientes. Por otro lado, el micelio externo de estos hongos puede mantener el nivel hídrico de la planta necesario en condiciones de estrés (Read 1989).

Son de particular importancia las especies de leguminosas que presentan asociación tripartita, estas han sido consideradas como plantas dominantes en dunas (Koske & Halvorson 1981), ya que por su rol dual son claramente relevante en el reciclaje de nitrógeno y fósforo en estos ecosistemas (Barea & Azcón-Aguilar 1983).

El tipo micorrízico VA se encuentra representado en todas las formas de vida, lo que reafirma que se trata del tipo de asociación micorrízica más difundida en los ecosistemas dunarios de Chile (Godoy en preparación). El tipo orquídeica y ericoide, de escasa importancia, se presentaron en geófitos y caméfitos, respectivamente.

Los suelos investigados se hacen levemente ácidos desde las dunas embrionarias a las secundarias debido, principalmente, a la cercanía del mar (Read 1989). Lo anterior conduce a reafirmar que, en este mismo sentido, la conductividad disminuye hacia las dunas más estabilizadas (Thannheiser 1978, Rose 1988). Los valores registrados de carbono total son muy bajos, lo que se puede atribuir a un proceso de lixiviación, debido a la alta pluviosidad anual en estas áreas. El fósforo absorbible y nitrógeno total también son bajos. Read (1989) señala que los hongos micorrízicos VA se encuentran presentes en suelos que poseen bajos niveles de nitrógeno y fósforo en la superficie del sustrato, lo que se debe a la percolación de éstos y a la falta de materia orgánica (Rose 1988). El alto contenido de sodio se debe a la cercanía del mar, valor que se correlaciona con el de conductividad y por lo tanto disminuye desde las dunas embrionarias hacia las secundarias. Los cationes: potasio, calcio y magnesio son altos, no existiendo diferencias significativas entre las localidades, en cambio el hierro es bajo, lo que es explicado por Rose (1988) en el hecho que este catión se encuentra bajo la superficie del sustrato, sobre todo en dunas que poseen una mayor antigüedad.

Read (1989) plantea un modelo de cronosecuencia desde dunas jóvenes, alteradas y enriquecidas por nutrientes en ausencia de simbiosis micorrízica. Su ubicación sería próxima a la línea de las mareas y a través de estadios donde incre-

menta la estabilidad y cambia considerablemente el status de nutrientes del suelo, con lo cual la asociación simbiótica de los HMVA comienza a ser progresivamente importante, considerando en primer término el fósforo y luego el nitrógeno como los mayores nutrientes de carácter limitante. Por ello plantea Read (1989) que los factores edáficos ejercen una posición selectiva primaria, determinando el tipo de asociación dominante. En estos ecosistemas el fósforo disponible constituye el nutriente más importante que limita el crecimiento, además de los bajos contenidos de materia orgánica. Este hecho reafirma que bajo estas condiciones las especies con HMVA son características (Read 1989, Godoy en preparación). Especies con semillas pequeñas y con baja reserva de fósforo pueden ser especialmente dependientes de la incorporación primaria, dentro de la red de hifas de HMVA (Read 1989) y esto probablemente desencadena una alta mortalidad de plántulas cuando crecen en condiciones nomicorrizadas, atribuido al agotamiento de este vital recurso (Grimme *et al.* 1987). En estos ambientes los procesos de nitrificación son inhibidos, siendo de esta forma el amonio el principal recurso de nitrógeno mineral, por lo que se le asigna un carácter limitante y clave para el desarrollo de las plantas (Read 1989). Frente a la ausencia de acreción de arena y la falta de depositación de nutrientes, asociados a la misma en sistemas dunarios estabilizados, se plantea que el recurso de nutrientes es de este modo finito y su dinámica de crecimiento estaría, fuertemente influenciado por la efectividad del ecosistema con que los nutrientes son reciclados (Read 1989). Bajo estas condiciones, el proceso de mineralización del nitrógeno y el aumento de especies leguminosas fijadoras de nitrógeno pueden tener un papel fundamental en la contribución significativa de este vital elemento al ecosistema (Barea & Azcón-Aguilar 1983).

El tratamiento estadístico de las 11 variables químicas consideradas, para los tipos de dunas en las tres localidades investigadas, permitieron, mediante el análisis de ordenación, explicar el 75.31% de la variación total, observándose agrupaciones definidas para Mehuín y Hueicolla y en forma independiente dos subgrupos: Quillahua (dunas primarias y secundarias) y Hueicolla (dunas embrionarias).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo brindado por Rubén Carrillo y Heriberto Figueroa. El estudio fue financiado a través del proyecto DID-UACH S-91-6.

BIBLIOGRAFIA

- ALBERDI, M. & C. RAMIREZ. 1967. Estudios en la zonación de la vegetación superior del litoral de Mehuín (Valdivia, Chile), en base a valores osmóticos. *Phyton* 24(2): 77-83.
- BAREA, J. & C. AZCON-AGUILAR. 1983. Mycorrhizal and their significance in nodulating nitrogen-fixing plants. *In: Brady, N.C. (edit). Advances in Agronomy* 36: 1-54.
- CASTRO, C. 1985. Reseña del estado actual de conocimiento de las dunas litorales en Chile. *Terra Australis* 28: 13-32.
- COGOLLOR, G. & A. VITA. 1980. Proposición para el manejo de las dunas de Ritoque. *Fac. Ci. Forest. U. Chile, Bol. Técn.* 60: 68-86.
- DANIELS, N. & H. SKIPPER. 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. *In: Schenck, N. (Ed.) Methods and Principles of Mycorrhizal Research. The American Phytopathology Soc.* 29-35.
- DI CASTRI, F. & E. HAYEK. 1976. *Bioclimatología de Chile. Vicerrectoría Académica. Universidad Católica de Chile*, 128 pp.
- DONOSO, T. 1974. Observaciones preliminares sobre la vegetación de las dunas de Llico (34°46'S; 72°05'W). *Provincia de Curicó. Notic. Mens. Mus. Nac. Hist. Nat. Santiago* 18(212 / 213): 11-13.
- ELLEMBERG, H. & D. MUELLER-DOMBOIS. 1967. A key to Raunkiaer plant life forms with revised subdivision. *Ber. Geobot. Inst. E.T.H. Stiftung Rähel* 37: 56-73.
- FOSTER, S. & T. NICOLSON. 1981. Agregación de sand from a maritime embryo sand dune by microorganisms and higher plants. *Soil Biology and Biochemistry* 13: 199-203.
- GEMMA, J. & R. KOSKE. 1988. Seasonal variation in spore abundance and dormancy of *Gigaspora gigantea* and mycorrhizal inoculum potential of a dune soil. *Mycologia* 80(2): 211-216.
- GEMMA, J. & R. KOSKE. 1989. Field inoculation of american beachgrass (*Ammophila brevifoligata*) with VA mycorrhizal fungi. *J. Environm. Manag.* 29: 173-182.
- GEMMA, J., R. KOSKE & M. CARREIRO. 1989. Seasonal dynamics of selected species of VA mycorrhizal fungi in a sand dune. *Mycol. Res.* 92(3): 317-321.
- GIOVANNETTI, M. 1985. Seasonal variations of mycorrhizas and endogonaceus spores in a maritime sand dune. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 84: 679-684.
- GIOVANNETTI, M. & AVIO. 1983. Endogonaceae spores in marine sand dunes in Italy. *Ann. Microbiol.* 33: 129-135.
- GIOVANNETTI, M. & T. NICOLSON. 1983. Vesicular-arbuscular mycorrhizas in italian sand dunes. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 80(3): 552-556.
- GREENACRE, M.J. 1984. *Theory and Applications of Correspondence Analysis.* Academic Press, New York.
- GRIME, J., J. MACKEY, S. HILLIER & D. READ. 1987. Floristic diversity in a model system using experimental microcosms. *Nature, London* 308: 320-42.
- HARLEY, J.L. 1989. The significance of mycorrhiza. *Mycol. Res.* 92(2): 129-139.
- HILDEBRANDT, R. 1983. Die Vegetation der Tieflandsgebüsche des südchilenischen Lorbeerwaldgebiets unter besonderer Berücksichtigung der Neophytenproblematik. *Phytocoenologia* 11(2): 145-223.
- HUNDT, R. 1985. Phytosociological and ecological aspects of the dunes on the Isle of Rügen, Baltic Sea. *Vegetatio* 61: 97-103.
- IANSON, D. & M. ALLEN. 1986. The effects of soil texture on extraction of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungal spores from arid sites. *Mycologia* 78(2): 164-168.
- INSTITUTO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES, IREN. 1978. Estudio de los suelos de la provincia de Valdivia. Santiago, Chile. 178 pp.
- JEHNE, W. & C. THOMPSON. 1981. Endomycorrhizae in plant colonization on coastal sand-dunes at Cooloola, Queensland. *Austral. J. Ecol.* 6: 221-230.
- KOHLER, A. 1966. *Ambrosia chamissonisè (Less.) Greene, ein Neophyt der chilenischen Pazifikküste.* *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* 79: 313-323.
- KOHLER, A. 1967. Die Entwicklung der Vegetation auf Küstendünen Mittelchiles. *Umschau Wiss. Techn.* 20: 666-667.
- KOHLER, A. 1970. Geobotanische Untersuchungen an küstendünen Chiles zwischen 27 und 42 grad südl. Breite. *Bot. Jahrb. Syst.* 9(1/2): 55-200.
- KOHLER, A. 1974. Zur Synchronologie der Dünenvegetation an der chilenischen küste. *In: R. Tuxen (Ed.), Tatsachen und Probleme der Grenzen in der Vegetation* 1: 375-381.
- KOHLER, A. & P. WEISSER. 1966. Contribución al problema de los neófitos: *Ambrosia chamissonisè (Less.) Greene* en Chile. *Bol. Univ. Chile* 69/70: 62-68.
- KORMANIC, P. & A. MC GRAW. 1982. Quantification

- of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In: Schenck, N. (ed.). Methods and principles of micorrhizal research. The American Phytopathological Soc. 37-45 pp.
- KOSKE, R. & J. GEMMA. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizae. Mycol. Res. 92(4): 486-488.
- KOSKE, R. & W. HALVORSON. 1981. Ecological studies of vesicular-arbuscular mycorrhizae in a barrier sand dune. Canad. J. Bot. 59: 1413-1422.
- KOSKE, R. & W. POLSON. 1984. Are VA mycorrhizae required for sand dune stabilization ?. BioScience 34(7): 420-424.
- MARTICORENA, C. & M. QUEZADA. 1985. Catálogo de la flora vascular de Chile. Gayana Bot. 42(1-2): 1-157.
- MOHANKUMAR, V., S. RAGUPATHY, C. B. NIRMALA & A. MAHADEVAN. 1988. Distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizae (VAM) in the sandy beach soils of Madras Coast. Curr. Sci. 57(7): 367-368 pp.
- NEWMANN, E. & P. REDDELL. 1987. The distribution of mycorrhizae among families of vascular plants. New Phytol. 106: 745-751.
- ORLOCCI, L. 1978. Multivariate Analysis in Vegetation Research (2a. ed.) Junk. The Hague.
- PUPPI, G. & S. RIESS. 1987. Role and ecology of VA Mycorrhizae in sand dunes. Angew. Bot. 61: 115-126.
- RAMIREZ, C., A. DURAN, H. FIGUEROA & J. CONTRE-RAS. 1985. Estudios de la vegetación de dunas con técnicas estadísticas multivariadas. Revista Geogr. Valparaíso 16: 47-66.
- READ, D. 1989. Mycorrhizas and nutrient cycling in sand dune ecosystems. Proc. Roy. Soc. Edinburgh B (96): 89-110.
- ROHLF, J. 1987. Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System for the IBM-Pc. Applied Biostatistics. Inc. Exeter. Publishing. L.T.D.
- ROSE, S. 1988. Above and belowground community development in a marine sand dune ecosystem. Pl & Soil 109: 215-226.
- SABBE, W. 1980. Handbook on reference methods for soil Testing. University of Arkansas, 130 pp.
- STEUBING, L. & A. FANGMAIER. 1992. Pflanzenökologisches Praktikum, Ulmer Verlag, Germany, 205 pp.
- SUTTON, J. & B. SHEPPARD. 1976. Aggregation of sand-dune soil by endomycorrhizal fungi. Canad. J. Bot. 54: 326-333.
- TESTER, M., S. SMITH & F. SMITH. 1987. The phenomenon of "nonmycorrhizal" plants. Canad. J. Bot. 65: 419-431.
- THANNHEISER, M. 1978. Pflanzensoziologische Beobachtungen an ostkandischen Küsten-Dünengebieten. Hoppea Denschr. Regenb. Bot. Ges. 37: 357-379.
- TORAL, M. 1980. Dinámica superficial del campo de dunas de Ritoque. U. Chile, Fac. Ci. Forest. U. Chile, Bol. Técn. 60: 1-29.

(Fecha de publicación octubre 1995)